

المقدمة الثالثة

معارلات ماكسويل:

رصدنا سابقاً بعضاً من خواص الحقول الكهرومغناطيسية الناتجة عن توزيع الشحنات الكهربائية المتحركة والتي تسبب مجالاً كهربائياً مستقر أو حثاً كهرومغناطيسياً متحركاً يسببه تيار مستمر (ثابت) والتي ينشأ منها مجال مغناطيسي مستقر. ورصدنا سابقاً أن:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0 \quad \text{و} \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{d\vec{E}}{dt} \quad (1)$$

وهذه تدرس الآن. فلو افترضنا أن لدينا حالة التغير الزمني والمغناطيسية عند ما تكون هذه المجالات متغيرة بالنسبة للزمن. وهذا يعني أن المعادلة (1) لا تصبح صحيحة. بل يجب أن تكون عند دراسة هذه المجالات الكهربائية والمغناطيسية.

معارلات ماكسويل - سنقوم بتأويل التعريف لغايات إظهار الحقول الكهرومغناطيسية المتحركة (التعريفية) في دائرة متحركة تأوي المقامير الزمنية للمعادلة المغناطيسية التي يقطع هذه الدائرة أي:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

كما أن القوة الدافعة (الحركة) الكهربائية المتحركة تأوي النظام المغلق المغلق للجوال

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \mathcal{E} \quad (3)$$

إن معنى تغير المقادير المغناطيسية بالنسبة للزمن في قانون التعريف لغايات إظهار ما أنه يتغير المساحة التي يقطعها المجال المغناطيسي بالنسبة للزمن أو أنه يتغير كثافة المقادير المغناطيسية \vec{B} بالنسبة للزمن حيث أن $\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$ (وهذا هو ما نأخذ في هذه الدراسة) فإنه قانون التعريف لغايات إظهار كيفية تغير الحقول الكهرومغناطيسية:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{s} = - \int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad (4)$$

وذلك لأنه المقادير بالنسبة للزمن ليست له علاقة بتغير المساحة وزمنه يكون له نفس المعنى:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad (5)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int \vec{\nabla} \times \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad (6)$$

وهناك النظام المعطى للعلمين سابقاً نتج منه ذلك أن:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (7)$$

نسمى هذه العلاقة بقانون التعريف لغايات إظهار كيفية التفاضل وهو أدنى معارلات ماكسويل.

نعلم سابقاً أن المجال النظري لكتلته الذممة المتساوية \vec{B} حول مسار مغلق يساوي حاصل
حزب μ_0 هو التيار الذي يحتويه المسار المغلق وهذا هو قانون أمبير ومبدأه القاطع هو:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$

مبدأ كتابة هذا القانون بشكل آخر بعد استعنا به هذه السهول كما يلي:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \int (\vec{\nabla} \times \vec{B}) \cdot d\vec{s}$$

ومن هنا نستنتج أن

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

ومن هنا تأخذ نفرض أن هذا المعاداة الأولي محقق على

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \frac{1}{\mu_0} \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = 0$$

وهذا لأنه تفرق أي تيار يساوي صفر (متطابقة). وبالمعنى أن معاداة حفظ الشحنة
 $\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\vec{\nabla} \cdot \vec{J}$ نستنتج أن $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ وهذا ما هو ما يكون صواباً

من أن هذه المعاداة لا تنطبق مع المعادلات المستقرة وهي لا تعطي نتائج
المعادلات المستقرة مع الزمن. لذلك اقترح ماكسويل إضافة حد آخر إلى قانون أمبير
لكي يحل مشكلة استقرائه في جميع الحالات. وقد افترض أن هذا الحد هو $\mu_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ وبذلك يكتب قانون
أمبير في الشكل التالي:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \vec{\kappa} \quad (8)$$

حيث $\vec{\kappa}$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \frac{1}{\mu_0} \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{B} - \vec{\kappa}) = -\frac{1}{\mu_0} \vec{\nabla} \cdot \vec{\kappa} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

وبذلك

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \cdot \vec{D}) = \vec{\nabla} \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

حيث \vec{D} هو متجه التدفق الكهربائي (عندئذ $\rho = \epsilon E$)

وبذلك نستنتج مما تقدم أن

$$\vec{\nabla} \cdot \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) = \frac{1}{\mu_0} \vec{\nabla} \cdot \vec{\kappa}$$

$$\vec{\kappa} = \mu_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

وباستعمال هذه العلاقة في المعاداة (8) نحصل على

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right)$$

أما أن

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (9)$$

حيث $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ \vec{H} هو المجال المغناطيسي.

إن إضافة الحد $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ والآن صيغتها بعد تيار الإزاحة بعد الإضافات اعترضه الذين ساءم
بها ماكسويل في دراسته مع نموذج الكهرباء والمغناطيسية. ومعنى إضافة الحد الأخير

المجال الكهربائي

هو المجال القاطع لونيته منتظم من وجود خيار التوزيع الكهربائي ولفائفه ينتج عنه
 ومعدر مجال كهربائي منتظم كما هو الحال مع خط في تغير المجال الكهربائي بين لوسين مكثته مستوية
 من حاله حثته هذه المكثه، وتقر بفنوا او سبيلها برامته خيار متساوي تتغير فيه
 المجال الكهربائي بين لوسين المكثه بصورة مستمرة. ولقد المعادله (9) هي ثابته
 معادلات ماكسويل.

ولقد مر معنا سابقاً ان $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ وهذه لعد المعادله الثالثه لماكسويل.
 أما المعادله الرابعه من معادلات ماكسويل فهي المعادله التاليه:

$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$
 حيث ρ كثافه الشحنة الجمله للشحنه الحرة في وسط هائل ما. وبذلك
 يمكن كتابة معادلات ماكسويل كالآتي:

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & (a) \\ \vec{\nabla} \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} & (b) \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 & (c) \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= \rho & (d) \end{aligned} \quad (10)$$

مع العلم ان $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ و $\vec{B} = \mu \vec{H}$ و ϵ و μ هما صوابا لوسط وتفاضلهما لوسط.

- معادله المرجح غير المتجانسه لعد من الجهد البعدى ϕ والجهد المتجهى \vec{A} .
 عند التقاطع مع مبادلات كهربائية ومسا عليه مستقر مع الزمن فباتا لا يمكن ان نستعمل
 العلاقات الخاصة بالمبادلات المستقره لاسيما ان $\vec{\nabla} \times \vec{E}$ لا يسوي صفراً وان $\vec{\nabla} \times \vec{B}$
 تختلف قيمته من حاله المبادلات المستقره بالنسبه للزمن مما هو عليه في المبادلات المستقره.
 وبما ان العلاقة $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ تصح في كل المبادلات وانها تفرق دوائر أي متجه يساوي صفراً، لذلك
 يمكننا سابقاً مكتبة لفرق المتجه \vec{B} بدلالة الجهد المتجهى كالآتي:

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

وهذه العلاقة يمكن ان نعرف المتجه \vec{A} بدلالة كل من الجهد البعدى والجهد المتجهى كالآتي:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} \phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (11)$$

فإذا كانت \vec{B} ثابته القيه فانه $\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ يساوي صفراً أو ان $\vec{E} = -\vec{\nabla} \phi$
 كما هو عليه الحال في الكهرباء المستقره. أما اذا افترضنا دوائر طرفي المعادله (11) فباتا متضمن على
 معادله ماكسويل الأولى كالآتي:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \phi) - \vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (12)$$

ملاحظ ان $\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \phi) = 0$ وان $\vec{\nabla} \times \vec{A} = \vec{B}$ فان $\vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

فبانه المعادله (12) تأخذ الشكل التالي الذي يبين معادله ماكسويل الأولى:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$